Neue Entomologische Nachrichten **64**: 148-171, Marktleuthen

Die Biologie und Metamorphose des Wiener Nachtpfauenauges *Saturnia pyri* ([Denis & Schiffermüller], 1775)

(Lepidoptera, Saturniidae)

von

Oliver Eitschberger

Vorwort

Die nachfolgende Arbeit über die Metamorphose des Wiener Nachtpfauenauges wurde als Facharbeit in Biologie (Kollegstufenjahrgang 2006/2008) angefertigt und im Januar 2008 dem Kursleiter (Leistungskurs Biologie B1) Herrn OStR Horst Weigel am Luisenburg-Gymnasium Wunsiedel übergeben. Diese Arbeit wird hier ohne wesentliche Veränderungen abgedruckt, in der Form, in der diese abgegeben wurde. Das äußere Bild, die Schriftgrößen sowie die Paginierung von 2-24 (unter der Oberkante der Seiten angegeben), stimmen mit der Originalarbeit überein.

Hier einige Anmerkungen, die jetzt für wichtig erachtet werden, jedoch als nicht relevant für die in der Schule eingereichte Arbeit Erwähnung fanden. Die Puppen für die Nachzuchten, wurden am 6.III.2006 von Herrn Dr. Alexandre Dantchenko, Moskau nach Marktleuthen gebracht. Dieser selbst hatte das Material von K. Erbanyan erhalten, der zuvor die Raupen 2005 in Armenien, Aragatz, Amberd valley, in 2400 m NN sammelte. Bei der Weiterzucht der Art für die Facharbeit handelt es sich demnach um eine F2-Generation in Marktleuthen, bezeichnen wir die erste Nachzucht von 2006 aus den Puppen vom März 2006 als F1. Die F1-Zucht erfolgte gleichfalls in Marktleuthen.

Die REM-Bilder von Abb. 6, 7 sind vom Fühler eines ♀ von *Saturnia atlantica* Lucas, 1849 aus Nordafrika, und die von Abb. 24-27, von den Eiern eines *Saturnia pyri* ([Denis & Schiffermüller]) ♀ aus Spanien (Provinz Murcia, vic. Jumilla, 50 m, 10.IV.1989, LF, Aistleitner leg.) angefertigt worden. Die Eier wurden aus dem Abdomen eines Sammlungsexemplars heraus präpariert.

Eine wirkliche Besonderheit und Abweichung vom normalen Entwicklungszyklus der Art wurde bei der Referenzraupe dokumentiert, ohne daß mir dieser Sachverhalt zum Zeitpunkt der Abgabe der Facharbeit bewußt war. Auf diese Abweichung machte mich erst Herr Franz Renner (Erbach-Ringingen) aufmerksam, ein Experte auf diesem Gebiet, der mit der Zucht und Hybridisation von Sphingiden und Saturniden sehr vertraut ist. Diesem hatte ich ein Exemplar der Facharbeit geschickt. Nach deren Studium stellt Herr Renner fest, daß die Referenzraupe, statt der normalerweise üblichen fünf Raupenstadien, deren sechs durchlief. Im Nachhinein ist es jetzt leider nicht mehr möglich festzustellen, ob auch andere Raupen der Zucht einen Entwicklungszyklus von sechs Stadien durchliefen, oder ob es sich bei der Referenzraupe um eine außergewöhnliche Ausnahme handelte. Herr Renner, der von der F2-Zucht Eier bekam, stellte seinerseits nur den nomalen Entwicklungsverlauf fest. Auch eine 2009 in Marktleuthen durchgeführte F3-Zucht verlief mit fünf Raupenstadien normal.

Inhaltsverzeichnis

Die Biologie und Metamorphose des Wiener Nachtpfauen-auges *Saturnia pyri* ([Denis & Schiffermüller], 1775)

(Lepidoptera, Saturniidae)

I. Einleitung

Saturnia pyri (D. & S.) ist die größte Schmetterlingsart Europas. Diese gehört zusammen mit den nahe verwandten Arten nicht nur in Mitteleuropa, sondern auch weltweit zu den auffälligsten und schönsten Nachtfaltern überhaupt. Die markante, große Augenzeichnung auf den Flügeln vieler Arten hat dieser Nachtfaltergruppe auch den deutschen Namen Pfauenspinner eingebracht. Die hier eingehend betrachtete Art besitzt den volkstümlichen Namen „Grosses“ oder „Wiener Nachtpfauenauge“. Wiener Nachtpfauenauge heißt sie deshalb, weil sie zuerst in der Wiener Umgebung entdeckt und erstmals durch Denis & Schiffermüller im Jahr 1775, in „Ankündigung eines systematischen Werkes von den Schmetterlingen der Wiener Gegend“ beschrieben und in die Wissenschaft eingeführt wurde. Wien und dessen Umgebung ist demnach auch der Typenfundort (Locus typicus) der Art. Ein weiterer volkstümlicher Name lautet Birnspinner, da die Raupen auch auf Birnbäumen angetroffen werden.

II. Der Schmetterling *Saturnia pyri* ([Denis & Schiffermüller], 1775)

1. Die systematische Zuordnung des Wiener Nachtpfauenauges

Die sytematische Stellung und Klassifikation der Gattung *Saturnia* Schrank, 1802 bei den Insekten (nach Heppner, 1996; Jost & Wymann, 2000):
Klasse: Insecta
Ordnung: Lepidoptera
Unterordnung: Glossata
Subunterordnung: Heteroneura
Division: Monotrysia
Sektion: Cossina
Subsektion: Bombycina
Überfamilie: Bombycoidea
Familie: Saturniidae Boisduval, 1834
Unterfamilie: Saturniinae Boisduval, 1834
Gattung: *Saturnia* Schrank, 1802 mit folgenden Arten aus Mitteleuropa und den Südalpen
Arten: *pavonia* (Linnaeus, 1761) Kleines Nachtpfauenauge
ligurica Weismann, 1876 Südliches Kleines Nachtpfauenauge
pyri ([Denis & Schiffermüller], 1775) Grosses- oder Wiener Nachtpfauenauge

2. Verbreitung (Abb. 1)

Das Wiener Nachtpfauenauge fliegt in Mitteleuropa im Burgenland und in der Südschweiz. Ferner finden sich Fluggebiete in Luxemburg und in weiten Teilen Zentralfrankreichs. Das Hauptverbreitungsgebiet ist jedoch circummeditteran angesiedelt, d. h. , dass die Art von Nordafrika (Algerien, Tunesien), über Spanien, Südfrankreich, die Mittelmeerinseln, die Südalpen mit Italien und dem Balkan bis zum Schwarzen Meer vorkommt (de Freina & Witt, 1987; Jost & Wymann, 2000). In Vorderasien dringt sie dann bis in den Iran vor. Die Verbreitung deutet darauf hin, dass die Falter, besonders aber deren Raupen, sehr wärmeliebend sind. Mein Zuchtmaterial stammt aus Puppen vom Berg Aragatz in Armenien, wo diese im Amberd Valley in über 2400 m NN vorkommt.



Abb. 1 (aus de Freina & Witt, 1987)

3. Die Falter (Imagines)

Die Geschlechter dieser Art sind kaum sexualdimorph, was bedeutet, dass sich ♂♂ und ♀♀ weder durch die Körpergröße noch durch die Zeichnungs- und Färbungsmerkmale wesentlich unterscheiden. Die Geschlechter sind durch die unterschiedlich lang bewimperten (gekämmten) Fühler, lange Kammzähne bei den ♂♂ und kurze bei den ♀♀ (Abb. 3, 5), sowie die Hinterleibsfülle, schlank bei den ♂♂ und prall und dick, aufgrund der Eier bei den ♀♀, zu unterschieden. Bei stark sexualdimorphen Arten sind die beiden Geschlechter unterschiedlich groß, dazu unterschiedlich gefärbt und

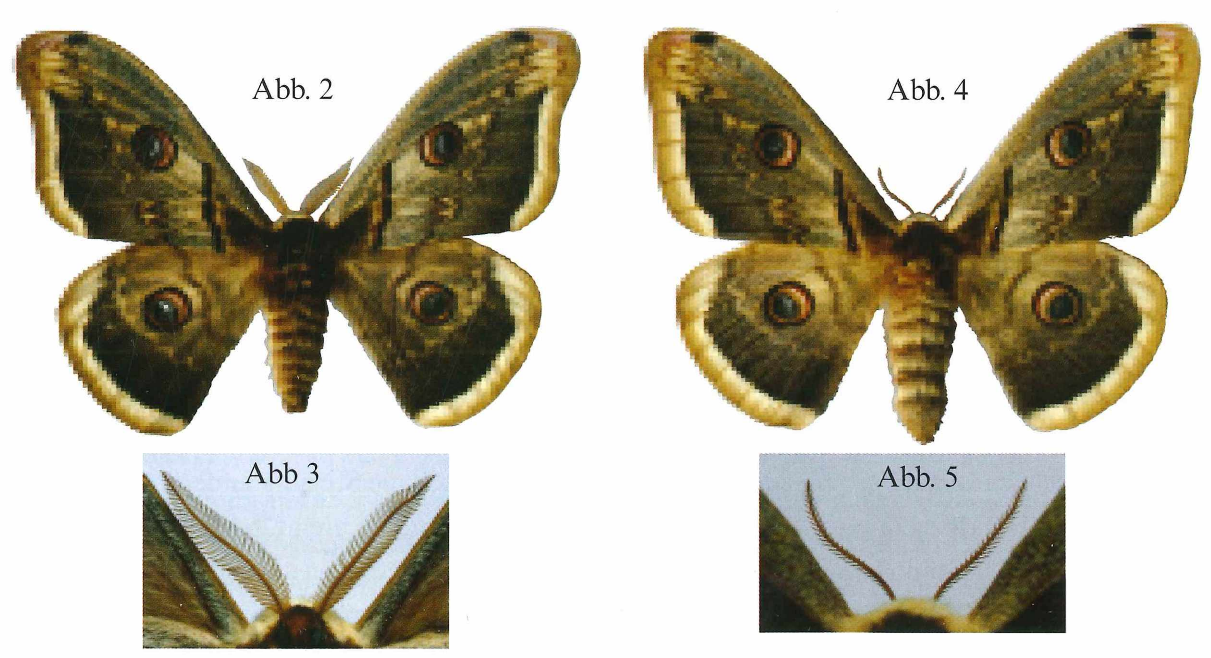


Abb. 2-5: *Saturnia pyri* ([Denis & Schiffermüller], 1775)
Abb. 2, 3: ♂; Abb. 4, 5: ♀

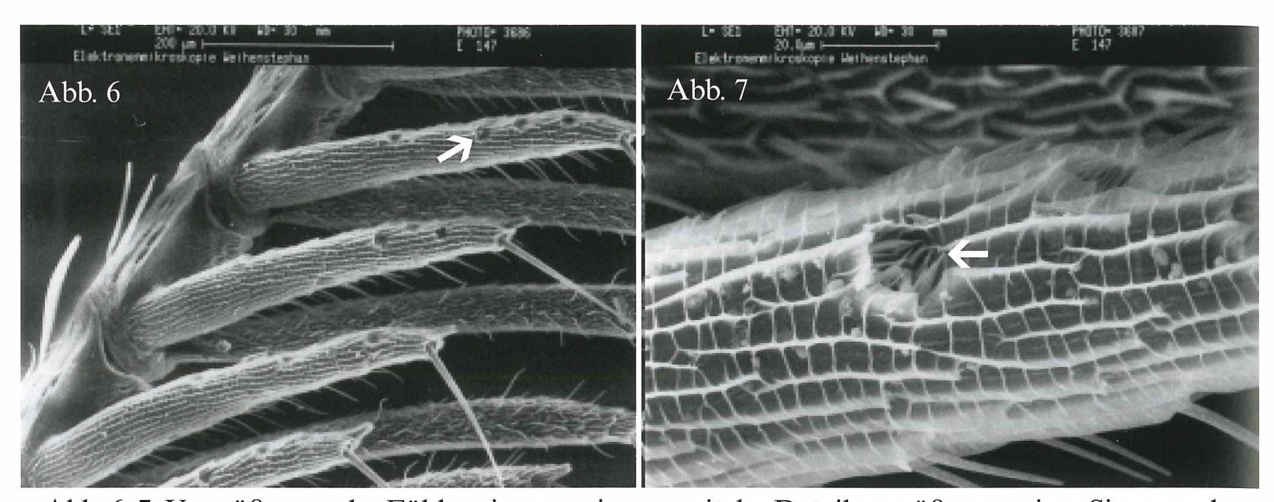


Abb. 6, 7: Vergrößerung der Fühlerwimpern eines ♂, mit der Detailvergrößerung einer Sinnesgrube mit den darin liegenden Sinneshaaren (siehe Pfeile).

mitunter auch mit unterschiedlichen Flügelformen ausgestattet. Das Wiener Nachtpfauenauge ist nachtaktiv. Tagsüber sitzen die Falter verborgen in der Vegetation oder an Gebäuden, falls sie durch Lichtquellen dorthin in der Nacht angelockt wurden. Sie haben eine Spannweite bei den ♂♂ zwischen 11-14,5 cm und 11-14 cm bei den ♀♀. Die charakteristische Zeichnung und die Farben der Flügel (Binden, Farbverteilung) sind auf den Abbildungen 2 und 4 gut zu erkennen.
Die Fühler der ♂♂ sind deshalb so breit kammförmig, damit diese die Pheromonmoleküle der ♀♀ aus der Luft filtern können. Haben sie eine Pheromonspur aufgenommen, können sie den Geschlechtspartner finden. Bei großer Bildauflösung eines Fühlers von einem ♂, mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskopes, kann man die in den Sinnesgruben liegenden Sensoren (Sinneshaare) für die Pheromonmoleküle deutlich erkennen.

III. Eigene Beobachtungen zu Biologie und Metamorphose des Wiener Nachtpfauenauges

1. Zuchtmaterial

Die überwinternden Puppen, die von Herbst bis in das Früjahr hinein den Winter in der Garage in einem Zuchtkäfig gelegen hatten, wurden Mitte April in das Haus gebracht. Ab 4.V.2007 beginnt der Schlupf der Imagines. Vom 4. - 15.V.2007 schlüpfen insgesamt 28 ♂♂ und 24 ♀♀, was auf ein ausgewogenes Geschlechterverhältnis bei dieser Art hindeutet. Das Schlüpfen der Falter beginnt allgemein nach 14 Uhr und dauert bis in die Abendstunden. Die Paarung der Falter erfolgt in der Nacht. Nach Jost & Wymann (2000: 384) soll die Kopula erst weit nach Mitternacht erfolgen. Ich beobachtete jedoch die erste Paarung am 5.V.2007 gegen 23 Uhr. (Um 23.07 Uhr wird ein weiteres Paar per Hand künstlich zur Vereinigung gebracht/Abb. 10.) Am 6.V.2007, gegen 3.05 Uhr, ist bei Kontrolle das erste Paar bereits getrennt, vermutlich durch die Störung anderer anfliegender ♂♂. (Das per Handpaarung zusammengebrachte Paar ist indes noch vereint, bei der weiteren Kontrolle gegen 7.10 Uhr dann getrennt.) Die Kopulationszeit beträgt somit bei dieser Art wenigstens vier bis fünf Stunden. Es gibt jedoch auch Arten mit wesentlich kürzerern, aber auch solche mit bedeutend längerern Kopulationszeiten, von 12 und mehr Stunden, ja sogar Tagen. Die Kopulationszeiten sind also auch artspezifisch.

Insgesamt wurden von den aus den Puppen schlüpfenden Faltern im Juni 2007 je vier ♂♂ und ♀♀ zur Kopula gebracht, um ganz sicher zu gehen, befruchtete Eier für die Weiterzucht zu besitzen. Erfreulicherweise stellte sich im weiteren Verlauf der Zeit heraus, dass alle Eier der vier ♀♀ befruchtet waren. Die schlüpfenden Raupen werden in Zuchtkäfigen auf die Blätter von frischen, in einem Glas stehenden Kirschzweigen gesetzt. Der Kot wird täglich entfernt und das Futter wird nach Bedarf im Zuchtbehälter ausgetauscht, an das die Raupen selbständig vom alten Futter überwechseln.

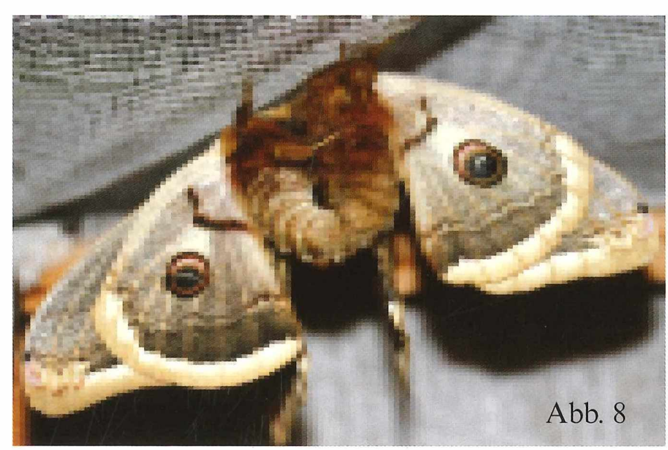




Abb. 8, 9: Zwei kopulierende Paare des Wiener Nachtpfauenauges im Zuchtkäfig. Im rechten Bild hängt das ♂ kopfüber nach unten - ohne sich festzuhalten, so wie dies häufig, vor allem bei Tagfaltern, zu beobachten ist.



Abb. 10: Handpaarung des Wiener Nachtpfauenauges.

2. Eistadium

2.1. Genitalorgan (Legeapparat)

Die Entwicklung der Eizellen in den Ovariolen ist bei den Schmetterlingen sehr unterschiedlich. Es gibt Arten, bei denen die Imagines Nahrung aufnehmen müssen, damit die Eireifung einsetzten kann und die Eier so über eine längere Zeit in Portionen abgelegt werden können, was bei den meisten Tagfaltern zu beobachten ist. Es gibt aber auch Arten, die keine Nahrung während ihres Falterlebens aufnehmen müssen und bei denen bereits nach dem Schlupf alle Eianlagen ausgereift vorhanden sind, so dass alle Eier unverzüglich abgelegt werden können. Wie in der Natur üblich, gibt es aber zwischen diesen Extremen auch alle mögliche Zwischenformen. Das Wiener Nachtpfauenauge besitzt zwar verkümmerte Mundwerkzeuge, nimmt aber dennoch keine Nahrung auf. Nur ein geringer Teil der Eier ist nach dem Schlüpfen des ♀ im Hinterleib voll ausgereift und ablagefertig. Die restlichen unausgereiften Eizellen

müssen nachreifen, so dass über mehrere Tage hinweg der Eivorrat in den Nächten abgelegt werden kann. Diese reifen und unreifen Eier kann man besonders in Abb 12. gut erkennen.

Die Eier der Schmetterlinge liegen und entwickeln sich in den Ovarien. Diese bestehen aus zwei Ovariolenästen zu je vier einzelnen Eischläuchen (Ovariolen), die sich im unpaaren Ovidukt vereinen. Im oberen Teil des Ovidukts dringt ein Spermium aus dem Receptaculum seminis (Samenblase) über den Ductus seminalis in das Ei durch die Micropylöffnung ein und befruchtet es, kurz bevor dieses aus dem Ovipositor ausgepresst und an die Oberfläche der Pflanze oder eines anderen Gegenstands geklebt wird (Schröder, 1928: 498) (Abb. 11/ Fig. 367).

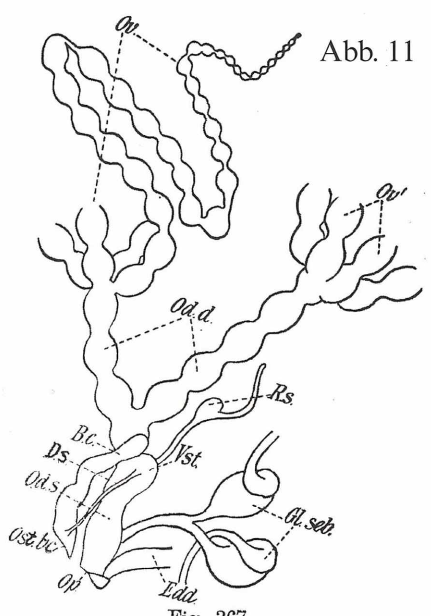


Fig. 367.

Weibliche Genitalorgane von *Smerinthus populi* L., rechts alle, links 3 Ovariolen abgeschnitten, ebenso die Anhangsschläuche der Glandulae sebaceae.

Ov, *Ov*¹ Ovarien. *Od.d* paariger Ovidukt. *R.s* Receptaculum seminis. *Vst* Vestibulum. *Bc* Bursa copulatrix. *D.s* Ductus seminalis. *Od.s* unpaarer Ovidukt *Ost.bc* äußere Öffnung der Bursa copulatrix. *Op* Genitalöffnung (Oviporus). *Edd* Enddarm. *Glseb* Kittdrüsen (Glandulae sebaceae.

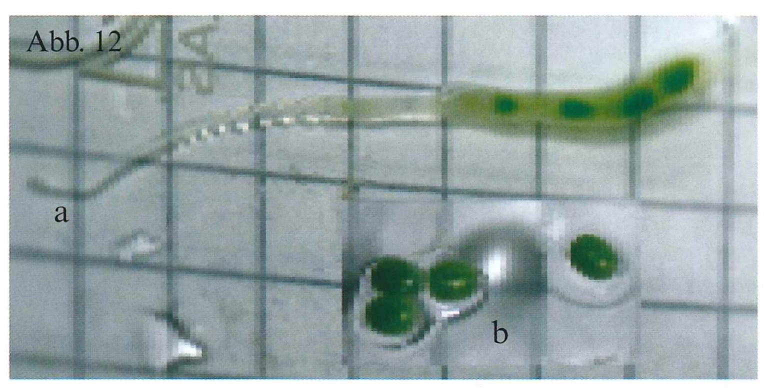


Abb. 12: Einzelne Ovariole mit gallertigen und etwas reiferen, breits grün gefärbten Eizellen (a), darunter voll entwickelte Eier (b).

Abb. 11: Schematische Darstellung des ♀ Genitalorgans (aus Schröder, 1928: 498).

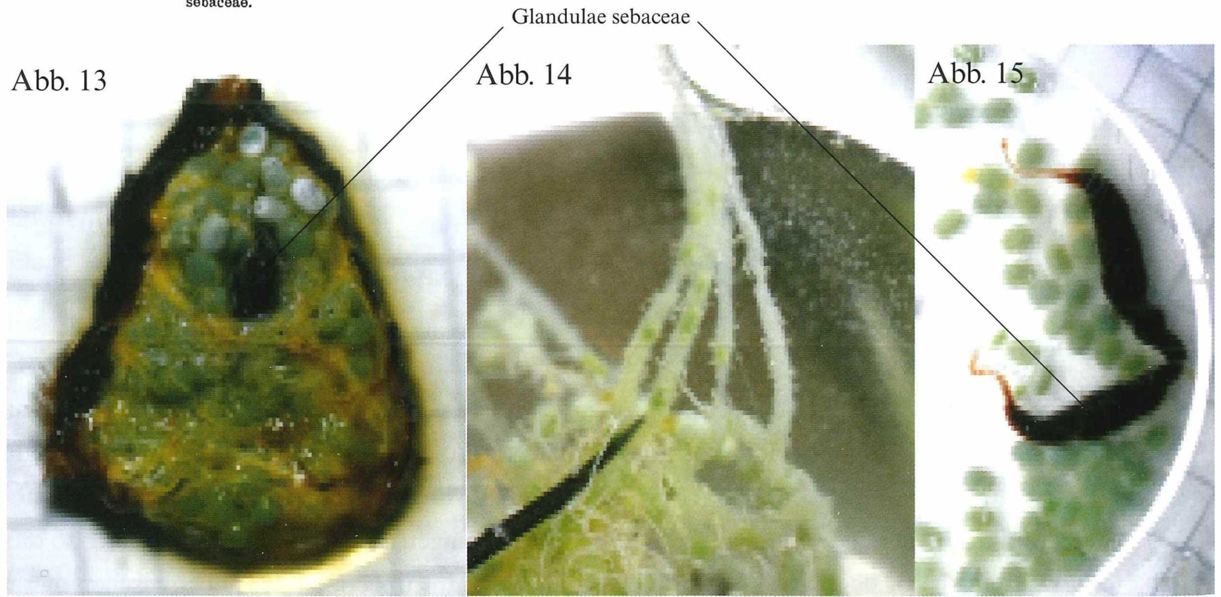


Abb. 13: Abgetrenntes und bauchseitig geöffnetes Abdomen (Hinterleib). Gut erkennbar: die reifen und unreifen Eizellen, sowie das diese umgebende Trachealsystem mit eingelagertem Fett (daher die gelbe Farbe).

Abb. 14: Ovariolenast mit vier Ovariolen und die darin erkennbaren Eizellen in unterschiedlichem Reifungsgrad.

Abb. 15: Paarige Glandulae sebaceae (Kittdrüsen) zwischen reifen Eizellen in der Petrischale.

2.2. Eiablage und Zahl der gelegten Eier

Das befruchtete ♀ des Wiener Nachtpfauenauges beginnt, nach JOST & WYMANN (2000: 384), erst in der darauffolgenden Nacht nach der Kopula mit der Eiablage und setzt diese, bis zum Tod, in den folgenden Nächten fort. Ich dagegen beobachtete, daß die beiden ♀♀ meiner Paarungen aus der Nacht vom 5. auf den 6.V.2007, bereits in der selben Nacht mit der Eiablage begannen!

Wie folgt wurden die Eiportionen von den ♀♀ abgelegt (Tabelle 1):

t N	6.V.	6./ 7.V.	7 . /	8./ 9.V.	9./ 10.V.	10.-13.V.		
Kopula 1	51	184	18	17			270 Eier	♀ † am 9. V.
Kopula 2	13	46	15		34	139	247 Eier	♀ † am 15.V.

Zwei weitere ♀♀ legten zusammen 555 Eier ab, was bei allen vier ♀♀ eine gesamte Eimenge von 1072 ergibt. Aus dieser Gesamtzahl lässt sich eine durchschnittliche Eiablagezahl von 268 pro ♀ ableiten.

Um zusätzliche Zahlen zu dieser Eiablagemenge zu ermitteln, wurden vier weitere ♀♀ nach dem Schlüpfen abgetötet und der Hinterleib (Abdomen) seziert. Bei der Sektion wurde Alkohol mit der Pipette in den geöffneten Hinterleib getropft, damit das Eiweiß gerinnt (koaguliert), um so die gallertigen, nahezu unsichtbaren, unreifen Eizellen (Abb 12.) in den Eischläuchen (Ovariolen) sichtbar werden zu lassen, als auch eine Festigung des Leibinhalts zu erhalten, was einer besseren Trennung der Organe dienlich ist. Hierdurch wurde es möglich, annähernd genau die Gesamtzahl der Eier festzustellen (Methode nach EITSCHBERGER, 1970).

Bei der Zählung der reifen und unreifen Eizellen wurden bei den vier ♀♀ folgende Werte erzielt: 383, 242, 204 und 261. Daraus ergibt sich eine Gesamtzahl von 1090 Eizellen und ein Durchschnittswert von 272,5. Dies entspricht fast dem Mittelwert der Eizahl von 268, die von den ♀♀ abgelegt wurden, die im Zuchtkäfig ihren Eivorrat ablegten.

In der Natur legen die ♀♀ ihren Eivorrat in kleineren Gruppen (Abb. 16-19) an die Nahrungspflanze der Raupen ab. Die Größen dieser Eiergruppen variieren sehr, da ich Zahlen von ca. 5 - 80 Eier zählen konnte. Bei der Ablage werden sie beim Verlassen des Ovipositors mit einer braunen, klebrigen Flüssigkeit überzogen, die aus den Kittdrüsen, den Glandulae sebaceae, stammt (Abb 1315), damit diese dann am Untergrund fest haften. Da zur Eiablage bei den meisten Spinnern (Bombycidae) und Schwärmern (Sphingidae) die ♀♀, bei Nichtvorhandensein einer geeigneten Raupenfutterpflanze, ihren Eivorrat in Gefangenschaft einfach auch an die Wände des Käfigs legen, blieb bei meinen Aufzuchtversuchen während der Eiablagephase der Käfig frei von jeglichen Fremdkörpern, was auch das Beobachten erleichterte. Die abgelegten Eier wurden jeden Morgen vom Holz oder der Gaze des Käfigs vorsichtig abglöst, gezählt und in einer Petrischale gesammelt.

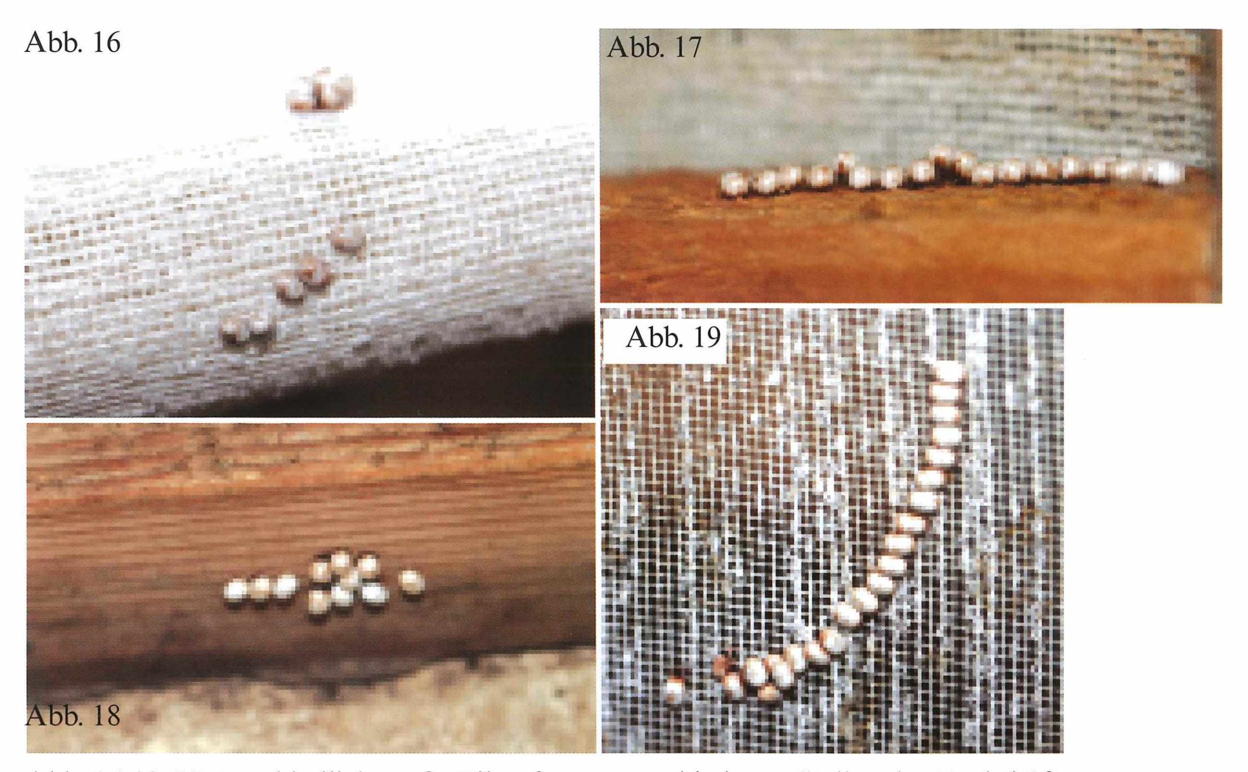
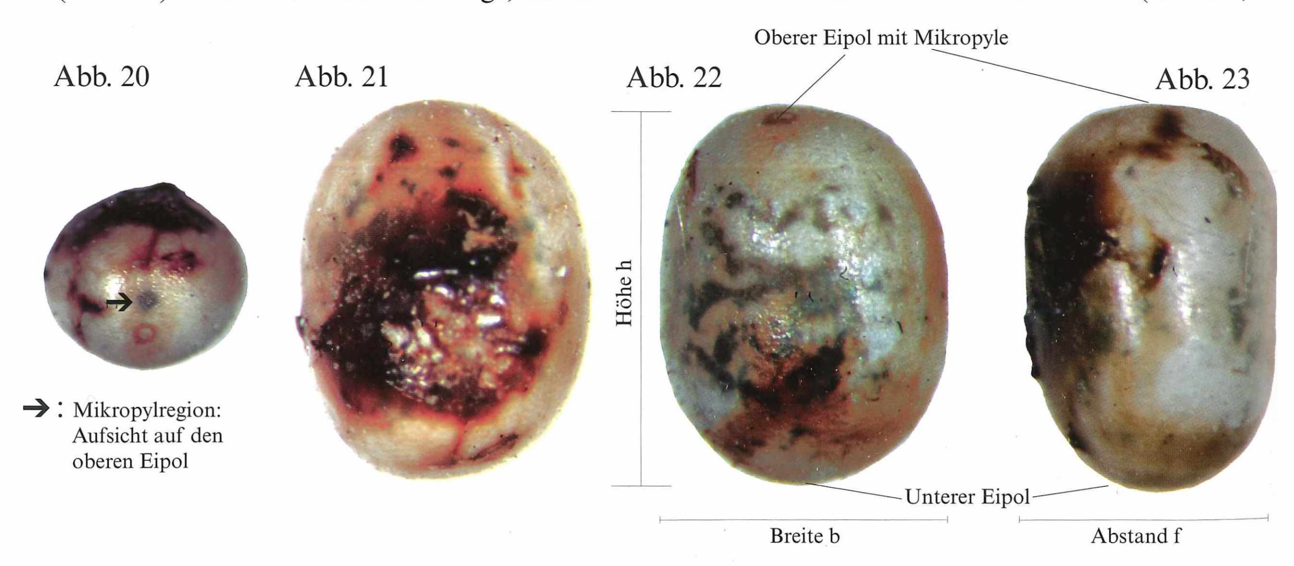


Abb. 16-19: Unterschiedlich große Eihaufen an verschiedenen Stellen des Zuchtkäfigs.

2.3. Eimorphologie

2.3.1. Aussehen

Die Form des Eies ist flach und oval-rundlich (Abb. 20-23) und besitzt einen unteren und einen oberen Eipol. Der obere Eipol beherbergt die Mikropylregion, in deren Zentrum sich die Mikropyle befindet (Abb. 20, 24). Die Mikropyle ist eine Öffnung, in die Spermien beim Verlassen des Ovipositors über das Receptaculum seminis eindringen können, um das Ei kurz vor der Ablage zu befruchten. Um die Mikropyle herum sind ringförmig oder spiralig, artspezifisch viele Mikropylspiralen angeornet. Im Zentum, um die Mikropyle selbst, ist die Mikropylrosette angeordnet (Abb. 26). Das Ei besitzt eine kräftige, stabile Chorionwand aus chitinähnlicher Substanz (Seifert,



1970: 339), so dass die Eier recht widerstandsfähig gegenüber mechanischen Belastungen sind. So konnten sie auch ohne Gefahr, diese zu zerdrücken oder zu beschädigen, mit den Fingernägeln, vorsichtig von der Unterlage abekratzt werden. Die Eifarbe ist hell graubraun, wobei die ursprüngliche Eifarbe allerdings teilweise, mitunter auch fast vollständig, durch die dunkelbraune Kittfarbe überdeckt wird (besonders Abb. 21). Die gesamte Eioberfläche ist, von der Mikropylregion abgesehen, wenig strukturiert. Sie ist als leicht wellig oder buckelig zu bezeichnen (Abb. 20-27). Um den Gasautausch zu gewährleisten, ist die Eioberfläche von einzelnen, unregelmäßig angeordneten Aeropylen bedeckt (Abb. 25), die das Eiinnere mit der Luft der Aussenwelt verbinden.

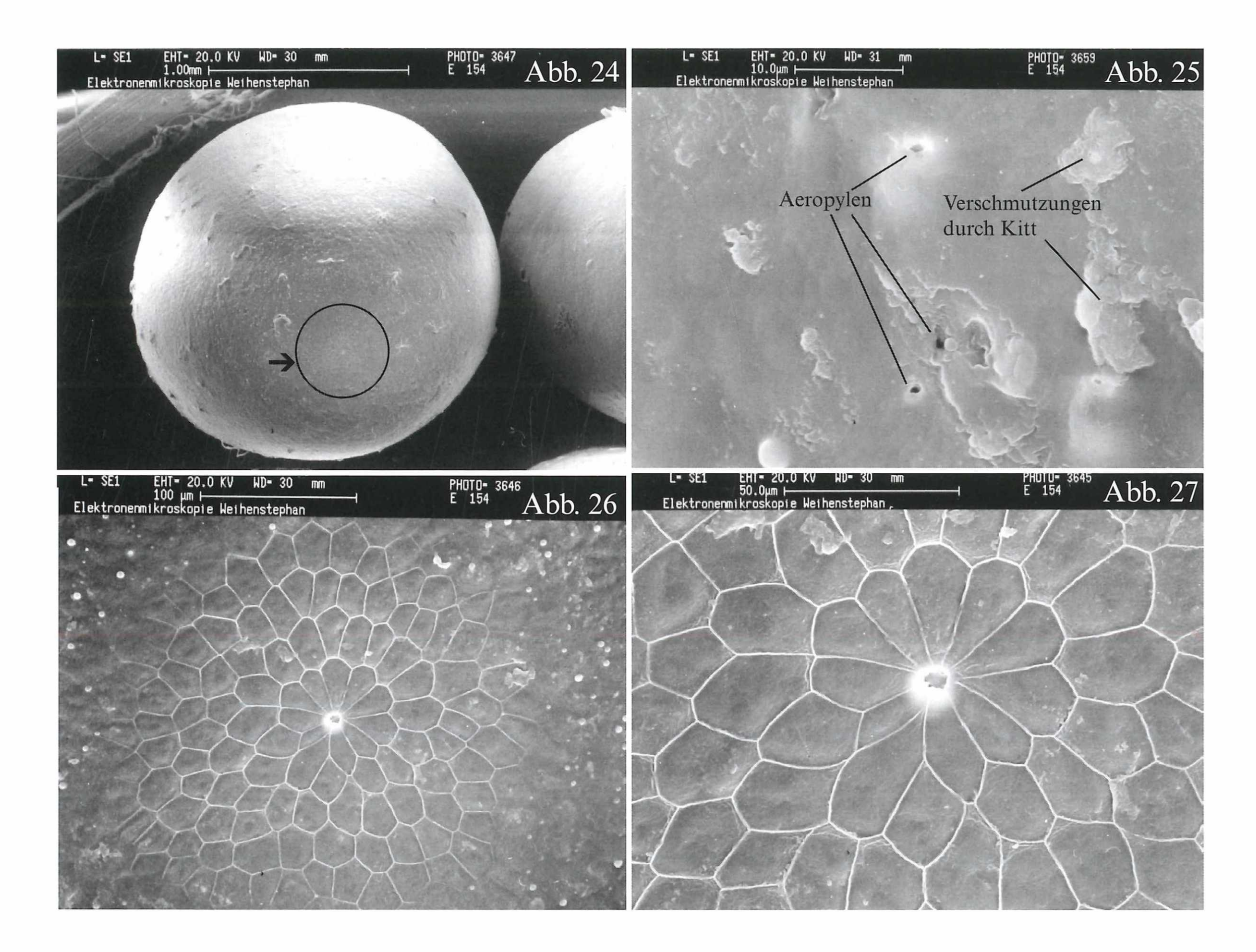


Abb. 24: Aufsicht auf das Ei.
Abb. 25: Ausschnitt aus der Eiwand mit Aeropylen und geringer Oberflächenstruktur.
Abb. 26: Mikropylregion: Im Zentrum die Mikropyle, darum die Mikroplyrosette, an die sich die Mikropylspiralen anordnen.
Abb. 27: Detailvergrößerung von Abb. 26.

2.3.2 Die Eimaße

Um die Eimaße zu ermitteln, wurden je 10 Eier von zwei ♀♀ (A + B) vermessen. Hierzu wurden die drei möglichen Werte, Höhe (h), die Breite (b) und der Abstand von Bauch- und Rückenseite (f) (siehe Abb. 22, 23 auf S. 9) in mm gemessen. Die Ergebnisse im Einzelnen:

♀ A	h	b	f	♀ B	h	b	f
1	2,34	1,80	1,47	1	2,25	1,70	1,60
2	2,00	1,81	1,60	2	2,30	1,75	1,52
3	2,36	1,90	1,60	3	2,10	1,75	1,50
4	2,30	1,81	1,50	4	2,30	1,90	1,57
5	2,25	1,86	1,60	5	2,30	1,82	1,51
6	2,38	1,83	1,60	6	2,40	1,80	1,63
7	2,30	1,82	1,62	7	2,36	1,90	1,63
8	2,39	1,80	1,60	8	2,20	1,75	1,50
9	2,20	1,84	1,52	9	2,10	1,62	1,60
10	2,29	1,80	1,61	10	2,40	1,70	1,60
Σ	22,81	18,27	15,72		22,71	17,69	15,63
Ø	2,28	1,83	1,57		2,27	1,77	1.56

Betrachtet man die Durchschnittswerte aus den Eiproben beider ♀♀, so ergibt sich daraus eine sehr gute Übereinstimmung in der Eigröße.

Das Gewicht der Eier ist so gering, so dass das Einzelgewicht nicht durch eine gewöhnliche Analysenwage bestimmt werden konnte. Das durchschnittliche Eigewicht wurde aus zwei Gesamteimengen bestimmt:
223 Eier: Gesamtgewicht 1,046 gr Ø: 4,6905 mg
393 Eier: Gesamtgewicht 1,873 gr Ø: 4,7659 mg
Gesamtdurchschnittsgewicht der 616 Eier beträgt damit 4,7386 mg

Um das reine Gewicht der Eischalenmasse festzustellen, wurden 100 leere, an der Luft getrocknete Eier gewogen, wobei natürlich auch die Menge an Eichorion vernachlässigt werden muß, die von der Raupe beim Schlüpfen aus den Ei aufgefressen wird, damit diese sich einen Weg in die Freiheit bahnen kann. Bei manchen Arten wird anschließend mehr oder weniger die gesamte Eihülle als erste Nahrung verzehrt, was die Raupen des Wiener Nachtpfauenauges jedoch nicht tun. Nach dem Schlüpfen beachten die Raupen nicht mehr das Ei, aus dem sie geschlüpft sind und verteilen sich auf den Blättern der Nahrungspflanze.

Das Gewicht von 100 leeren, lufttrockenen Eischalen: 0,061 gr ➔ Ø: 0,61 mg pro Ei.

Bei allen Gewichstwerten muß der an den Eihüllen haftende Klebekitt, der selbst etwas Eigengewicht besitzt, vernachlässigt werden. Aber man kann davon ausgehen, dass dieses Zusatzgewicht das verlorene Gewicht der gefressenen Eischalenteile aufhebt, die die Raupe beim Verlassen wegnagt.

3. Raupenstadien

3.1. Angaben zur Biologie

Um die Entwicklung der einzelnen Raupenstadien genau dokumentieren zu können, wurde eine Raupe von den anderen sofort nach dem Verlassen der Eihülle separiert und in einem eigenen Aufzuchtkäfig gesetzt, wo diese bis zur Verpuppung verblieb.

Die Raupe ist als polyphag zu bezeichnen, da diese nicht nur an einer einzigen Planzenart einer Gattung (monophag) oder mehreren Pflanzenarten aus einer oder zwei Gattungen (oligophag) frißt. Das Futterspektrum der Raupen des Wiener Nachtpfauenauges umfaßt eine ganze Reihe von Arten aus sehr unterschiedlichen Gattungen des Pflanzenreiches.. Nach JOST & WYMANN (2000: 383) fressen und leben die Raupen in der Schweiz an Apfel, Kirsche, Pflaume, Mandel und Birne, aber auch auf Edelkastanie, Esche, Rotbuche, Bergahorn und Hasel. DE FREINA & WITT (1987: 392) führen neben den bei JOST & WYMANN (2000: 383) aufgeführten Futterpflanzen noch Nußbaum, Aprikose und Schlehe an. Diese bezeichnen die Art auch als Kulturfolger, da sie sich vor dem Einsatz der Spritzmittel (Insektizide, Pestizide) in Gärten und Obstbaumplantagen in Niederösterreich und in der Südschweiz ausbreitete und häufig war. Nach dem Einsatz der Spritzmittel, nach dem 2. Weltkrieg, wurde die Art dort aber immer seltener und in ihrem Bestand bedroht. In der Schweiz ist in den letzten Jahren wieder ein Anwachsen der Populationsstärken zu verzeichnen, da dort gezielter und auch weniger gespritzt wird, im Vergleich zu den Jahren davor, als mitunter sogar großflächig durch Flugzeuge oder Hubschrauber die Spritzmittel verteilt wurden (JOST & WYMANN, 2000: 385). In Österreich ist die Art inzwischen gefährdet, unter Schutz gestellt und in die Roten Listen aufgenommen worden.

Für meine Aufzucht verwendete ich ausschließlich Zweige mit Blättern der Süsskirsche.

Die Raupe des ersten Raupenstadiums (L1-Raupe) schlüpfte am 17.V., nach einer Entwicklungszeit von 11 Tagen (Eiablage am 6.V.2007). Sie wog ca. 3 mg und hatte eine Länge von 6,5 mm in Ruhe und ca. 7,3 mm bei der Fortbewegung. Ziehen wir nun zu diesem Gewicht von 3 mg, das Durchschnittsgewicht des leeren, lufttrockenen Eis von 0,61 mg ab, so erhalten wir ein Gewicht von 3,61 mg. Das Gesamtdurchschnittsgewicht von 616 vollen Eiern beträgt aufgerundet 4,74 mg. Aus diesem Wert (4,74 mg) und dem zuvor errechneten (3,61 mg), ergibt sich ein Gewichtsverlust 1,13 mg, der durch Feuchtigkeitsverlust zu erklären wäre.

Phänotyp: Die Raupe jedes Häutungsstadiums besitzt immer gleich viele Segmente, Bauch-und Brustbeine. Es ändern sich lediglich Größe, Gewicht, Farbe und die Zahl und Größe von Kopf- und Körperhaaren. Nach dem Kopf schließen sich drei Brust- und 10 Bauchsegmente an, wobei 9. und 10. Bauchsegment verschmolzen sind, an dessen Ende der Nachschieber sitzt. An den drei Brustsegmenten sitzt je ein Paar einfach gegliederte Beine. Es sind echte Beine, wogegen die vier Beinpaare mit den Saugnäpfen vom 3.-6. Bauchsegment lediglich Scheinbeine darstellen (SEIFERT, 1970: 73).

Die im Folgenden beschriebenen Raupenstadien muß die Raupe deshalb durch mehrere Häutungen durchlaufen, da ihr Körper mit der ständigen Nahrungszufuhr enorm anwächst, die Haut jedoch nur bis zu einem gewissen Grad dehnbar ist, jedoch selbst nicht mitwächst. Deshalb bildet sich unter der alten Raupenhaut eine neue, größere Haut aus, die der Raupe nach der Häutung dann ein weiteres Wachstum ermöglicht. Die Häutungen und die Verpuppung werden durch Hormone gesteuert (Seifert: 136ff).

3.2. L1-Raupe (Abb. 28-31)

Die geschlüpfte Raupe (L1-Raupe) wiegt nach dem Verlassen der Eihülle am17.V.2007, 3 mg und hatte eine Ruhelänge von 6,5mm und 7,3mm bei der Fortbewegung. Die L1-Raupe ist zusammen mit der Kopfkapsel bis auf die zwei weißlichen Flecken hinter dem Kopf und dem ebenso hellen Nachschieber, schwarz und besitzt sechs rötlich-bernsteinfarbige Warzen auf jedem Körpersegment. Die Warzen besitzen ringförmig angeordnet sechs kräftige, mittellange, helle auch rötlich-bernsteinfarbige Dornenhaare, die sich später als Drüsenhaare herausstellten (dazu später) und zu dem Dornenring, mittig angeorndet, ein längeres Dornenhaar. Die Raupe hat am 21. V., in den Vormittagsstunden, eine Länge von 11,6 mm und wiegt 0,024 gr. Gegen 18 Uhr geht die Raupe in die Hätungsstellung über und beginnt mit der Entwicklungs- und Ruhephase zur 1. Häutung. In der Häutungsstellung zieht sich die Raupe in sich zusammen und wölbt die Thorakalsegmente in einer leicht aufbäumenden nach vorne gezogenen Bewegung abwärts, so dass der Kopf auf der Oberfläche der Hätungsunterlage nach unten zu liegen kommt. Bei Störung werden die vorderen Segmente angehoben und seitliche Abwehrbewegungen damit ausgeführt. In dieser Phase schiebt sich relativ rasch die neue, größere Kopfkapsel hinter die alte, kleinere, so dass diese wie ein Hut auf dem neuen Kopf aufsitzt. Nun, da der alte Kopf von der Raupenhaut abgelöst ist, kann die Raupe aus dieser heraus mit ihrer neuen und größeren Haut kriechen, während die alte noch mit den Haftbeinen am Untergrund befestig ist. Dieses Verhalten und dieser Vorgang ist bei allen nachfolgenden Häutungsvorgängen ähnlich zu beobachten.



Abb. 28, 29: L1-Raupen kurz nach dem Schlüpfen.

3.3. L2-Raupe (Abb. 32-36)

Am Morgen des 22.V. ist die L1- zur L2-Raupe gehäutet. Die Länge der Raupe in Ruhe beträgt nun 9,8 mm. Nach der Häutung besitzt die Raupe ein völlig anderes Aussehen. Der ganze Körper ist weißlich oder weißlich-grau und besitzt auf jeder Seite zwei laterale Punktreihen und oben eine dorsale schwarze Punktreihe. Die Warzen, Warzenhaare und Nachschieber sind glasig und weiterhin rötlich-bernsteinfarbig. Die Kopfkapsel, zusammen mit dem ersten Thorakalsegment ist hell braungrau gefärbt. An der Nahtstelle von Ventral zu Lateral bildet sich ein schwacher Hautwulst, der etwas heller als der Körper gefärbt ist. Dieser Streifen der Hautwülste verläuft vom 1. Thorakalsegment bis zum 8. Abdominalsegment und behält diese Ausdehnung auch bei allen folgenden Raupenstadien bei.

Am 28.V. , kurz vor der Häutung, hat die L2-Raupe eine Länge von 19,1 mm. Aus Gründen der Sicherheit wurde auf ein Wiegen der Raupe verzichtet, da sie sich fest am Zweig anklammerte und nicht ablösen lässt. Am 29.V. nimmt die Raupe am frühen Morgen die Hätungsstellung ein und häutet sich zum 2. Mal, am 30.V. zwischen 7 bis 8 Uhr morgens.

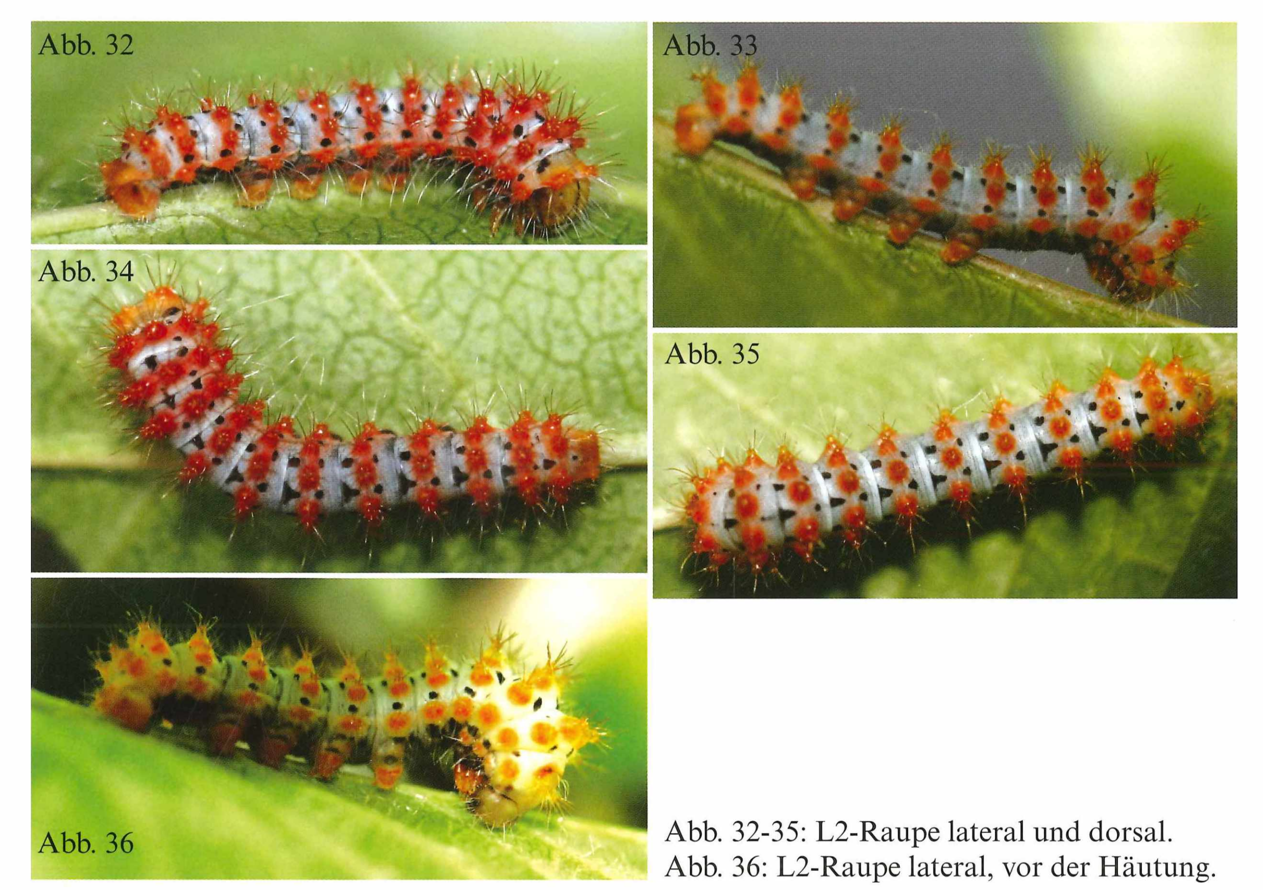


Abb. 32-35: L2-Raupe lateral und dorsal.
Abb. 36: L2-Raupe lateral, vor der Häutung.

3.4. L3-Raupe (Abb. 37-41)

Die L3-Raupe ändert erneut ihr Aussehen: Der Körper wird hellgrün und aus den, auf den Warzen mittig liegenden Dornenhaaren, werden längere Härchen mit einer am Ende liegenden tropfenförmigen Verbreiterung, die besonders auf dem 2. und 3. Thorakalsegmenten sehr lang sind. Auf den Warzen der dorsalen Mittelelreihe fehlen diese Haare jedoch auf den Abdominalsegmenten 1-7 (Abb. 45). Aus den relativ großen, schwarzen Fleckenreihen werden kleine schwarze Punktreihen, so dass auf jedem Körpersegment pro Reihe je ein Punkt zu sehen ist. Der Kopf ist etwas dunkel-

grüner, der Dornenring der Warzen ist ebenso dunkel. Nachschieber, Bauchbeine und Brustbeine sind bernsteinfarbig geblieben, die Segmentwarzen sind hell-gelblich. Der Bauch der Raupe ist in diesem Häutungsstadium schwarz gefleckt. Die Hautwülste an den Segmentseiten bleiben weißlich und heben sich nun deutlich gegenüber dem hellgrünen Körper als Streifen ab.

Die Raupe hat am am 30.V. eine Länge von 16,8 mm (um 17.48 Uhr), am 31.V. eine Länge von 21,00 mm (um 18 Uhr), 24,8 mm ist die Länge am 2.VI. und 28,4 mm am 3.VI. (10 Uhr). Am 4.VI. nimmt die Raupe die Häutungsstellung zur 3. Häutung ein. Diese misst am Mittag 23,4 mm und schrumpft weiter bis zum Abend auf 20,4 mm. Sie häutet sich zum 3. Mal am 5.VI. gegen 17 Uhr.



Abb. 37-40: L3-Raupe lateral und dorsal. Beachte die langen Warzenhaare.
Abb. 41: L3-Raupe, lateral und in Häutungsstellung.

3.5. L4-Raupe (Abb. 42-45)

Die L4-Raupe knabbert nach der Häutung ganz wenig an der alten Raupenhaut herum, ein Verhalten, das auch bei den anderen Raupen nur in dieser Phase beobachtet wird. Bei den Häutungen fällt normalerweise die alte Haut ab oder bleibt unbeachtet liegen (siehe Abb. 42). Dies ist auch ein artspezifisches Verhalten, da die Raupen anderer Arten begierig die Haut des alten Raupenkleids teilweise oder ganz auffressen, um diese als Eiweiß- und Energiequelle zu nützen. Dieses Verhalten ist beispielsweise bei einigen Tagfaltern, wie Schwärmern, vorzufinden. Der Körper ist jetzt in diesem 4. Raupenstadium etwas dunkler grün gefärbt. Die gelbliche Farbe der Warzen weicht einer hellrosanen Färbung. Neben den Haarlängen, wie im L3-Stadium beschrieben, fallen bei der

L4-Raupe jetzt zusätzlich längere Knopfhaare auf dem 7. und 8. Bauchsegment auf. Außerdem ist der Laterlastreifen jetzt weiß-gelblich gefärbt. Aus den, über dem Lateralstreifen liegenden schwarzen Punkten sind weiße Ovale mit schwarzem Rand geworden, die sich nun eindeutig als Stigmen (Atemöffnungen zum Tracheensystem) auszeichnen.

Die L4-Raupe wiegt nach der Häutung am 5.VI.2007 gegen 17 Uhr 0,274 g und erreicht eine Länge von 2,44 cm; das Gewicht der Raupenhaut beträgt 0,004 g. Am 7.VI. gegen 8 Uhr beträgt die Raupenlänge 3,02 cm, am 10.VI. gegen 9.30 Uhr 3,64 cm und am 11.VI. gegen 10.30 Uhr 3,74 cm. Am 12.VI. nimmt sie gegen 18.48 Uhr die Häutungsstellung ein, wobei sie auf 3,3 cm Länge zusammenschrumpft.

Die Häutung zur L5-Raupe erfolgt in den Morgenstunden gegen 6.28 Uhr am 14.VI.

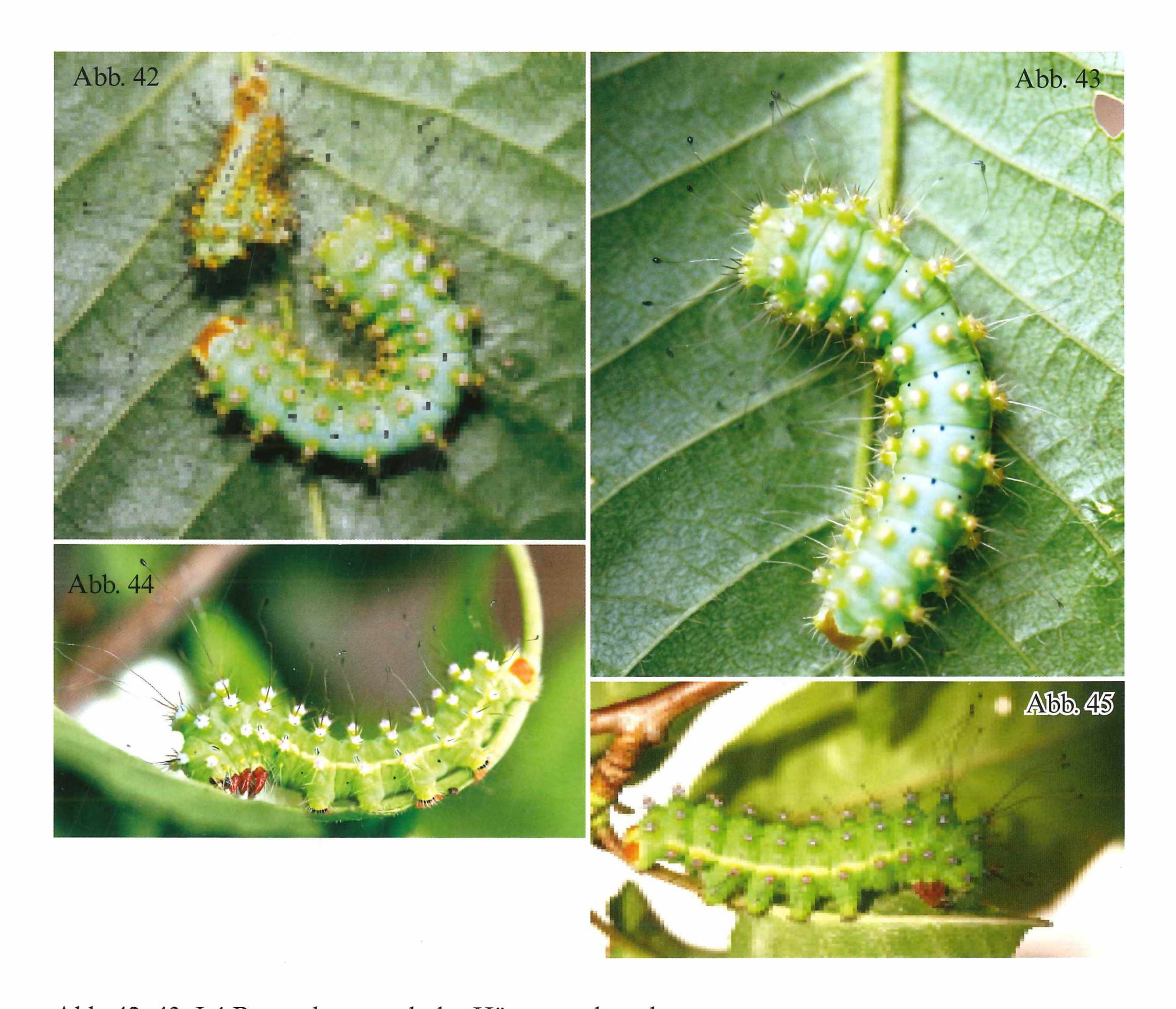


Abb. 42, 43: L4 Raupe kurz nach der Häutung, dorsal.
Abb. 44: L4-Raupe, lateral.
Abb. 45: L4-Raupe in Häutungsstellung, lateral.

3.6. L5-Raupe (Abb. 46-54)

Der Körper hat nun eine satte grüne Farbung angenommen und die Warzen wechseln ihre Farbe von hellrose nach hellblau.

Am 14.VI. wiegt die Raupe nach der Häutung 1,033 gr; das Gewicht der abgestreiften Haut mit Kopfkapsel beträgt 0,021 gr; am. 16.VI. beträgt die Raupenlänge gegen 17.11 Uhr 5,25 cm, am 19.VI. gegen 22 Uhr 6 cm. Das Gewicht der Raupe beträgt am 20.VI. 3,39 gr.
Am 22.VI. wird die Häutungsstellung eingenommen, wobei die Raupenlänge auf 5,57 cm schrumpft.

Besonderheiten während der L5-Phase:
Im 5. Raupenstadium fiel es außerdem auf, dass die Raupen bei Berührung zirpende Geräusche von sich geben und sich energisch um den Finger zu wickeln versuchen, was den Schluss zulässt, dass es sich hierbei um eine Abwehrreaktion handelt. Dieses Geräusch wird von den Raupen durch das Aneinanderreiben der Mandibeln (Mundwerkzeuge) hervorgerufen. Eine weitere Abwehrreaktion wurde durch Zufall entdeckt: Nach dem Berühren oder Umsetzen der Raupen, waren die Finger mit einem durchsichtigen, klebrigen Sekret benetzt (Abb..51-54). Ob die jüngeren Raupenstadien gleichfalls über die Drüsenhaare ein Sekret absondern können, wurde nicht beobachtet. Soweit mir bekannt, wurde auf dieses spezielles Abwehrverhalten beim Wiener Nachtpfauenauge in der mir zugänglichen Literatur nicht hingewiesen. Dass Raupen über Drüsenhaare Sekrete absondern können, ist von vielen Weißlingsraupen (Pieridae) bekannt (Eitschberger, 1984: 14).

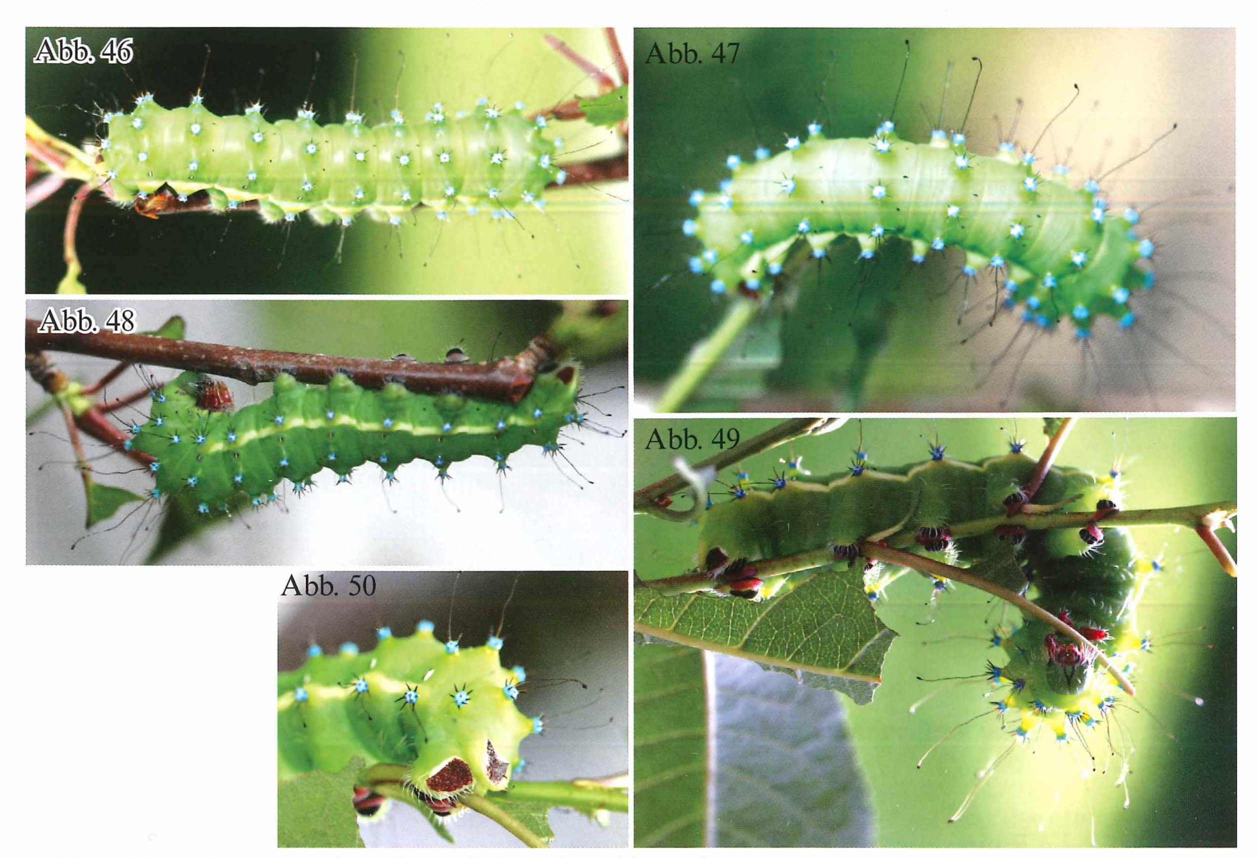


Abb. 46-48: L5-Raupe, dorsolateral, dorsal und lateral .
Abb. 49: L5-Raupe, dorsoventral bis ventral; besonders gut erkennbar ist, wie sich die Saugbeinpaare um den Ast klammern.
Abb. 50: L5-Raupe, Nachschieber mit charakteristisch rotbraunem Fleck.

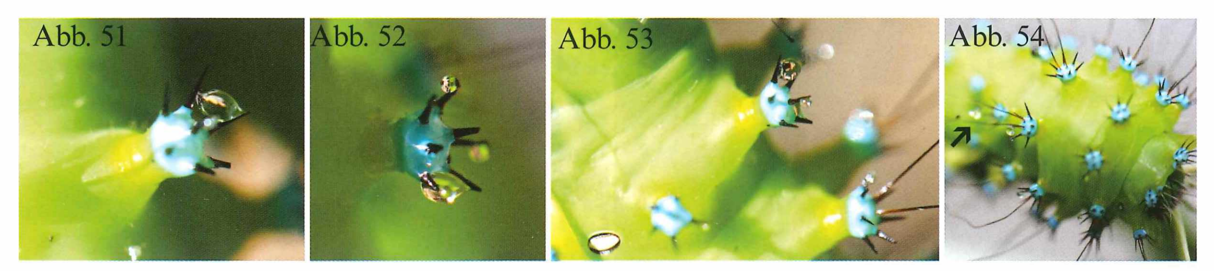


Abb. 51-54: Warzen mit Drüsenhaaren und daran haftenden Sekrettropfen.

3.7. L6-Raupe (Abb. 55-59)

Nach der sechsten Häutung weist die Raupe keine besonderen Merkmalsänderungen gegenüber der L5- Raupe auf.
Vor der Verpuppung, wird die Raupe unruhig, hört auf zu fressen und verfärbt sich während des Herumwanderns im Käfig, von grün nach schmutzig braungrün (Abb. 60, 61). Nach der Wanderphase sucht die Raupe einen geeigneten Ort, um sich einzuspinnen und im Kokon zu verpuppen. Im Schutz des starken Kokongespspinstes kann dann die Puppe überwintern.

Die L6-Raupe streift am 24.VI. gegen 22 Uhr die Raupenhaut ab und wiegt danach 4,594 g bei eine Länge von 5,89 cm; die abgestreifte Raupenhaut wiegt 0,116 g und die Kopfkapsel wiegt 0,004 gr. Am Morgen des 1.VII. beträgt das Raupengewicht gegen 8 Uhr 10,886 g, am 4.VII. gegen 21.10 Uhr 16,784 g, am 5.VII. gegen 20.40 Uhr 18,041 g, am 6.VII. gegen 18.10 Uhr 18,171 g, am 7.VII. gegen 23.28 Uhr 17,724 g und am 8.VII. gegen 20 Uhr 18,501 g.

Abb. 55

Abb. 56

Abb. 58

A b b

Abb. 59



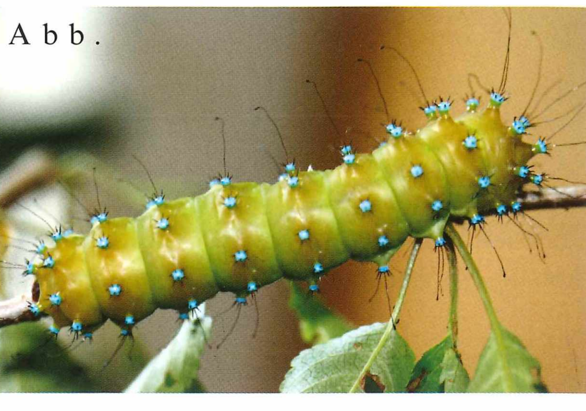


Abb. 55-57: L6-Raupe, dorsal und lateral.
Abb. 58: Detailausschnitt von L6-Raupe, lateral; man beachte die Stigmen (Pfeil).
Abb. 59: Kopf der L6-Raupe von vorne; gut sichtbar die Mandibeln.
Abb. 60, 61: L6-Raupe, Verfärbung während der Wanderphase vor dem Einspinnen in einen Kokon zur Verpuppung.

4. Puppenstadium

Am Morgen des 10.VII.2007 entleert die Raupe ihren gesamten Darminhalt (Abb. 62). Der Kot ist jetzt sehr dünnflüssig und am Ende fast nur noch schleimig. Das Gewicht des Schleims beträgt bei einer Raupe 1,061 g. Danach verfärbt sie sich, läuft im Käfig umher und beginnt mit der Wanderphase, in der keine Nahrung mehr aufgenommen wird. Am Ende der Wanderphase, die sich über viele Stunde bis zu einem Tag hinziehen kann, sucht sie sich in einer Ecke einen geeigneten Ort, um sich einzuspinnen und zu verpuppen. Zuerst spinnt die Raupe aus Seidenfäden, die den Spinndrüßen entstammen, einen groben, dreidimensionalen „Gitterrahmen", um darin dann den Kokon um ihren Körper zu formen bis sie nicht mehr durch die Dichte des Seidengespinst zu sehen ist (Abb. 63, 64). Am spitzen, oberen Ende des Kokons legt die Raupe von innen eine Reuse an, damit der Falter später beim Schlüpfen wenig Mühe ha,t aus der Puppe zu kriechen (Abb. 65, 66, 68). Nach Beendigung des Einspinnvorgangs wird das Innere des Kokons mit einem Sekret aus den Speicheldrüsen geglättet, was bei einer geöffneten Puppe gut zu erkennen ist. Nach einer Ruhephase häutet sich die Raupe nochmals, wie bei den Raupenstadien auch. Diese Häutung dient aber dazu die Haut von der Gliederpuppe abzustreifen, die sich in der Ruhephase gebildet hat. Die Haut wird zu einem kleinen Polster zusammengedrückt und bleibt unter der Puppe liegen (Abb. 65, 69).In dieser Phase ist die Puppe sehr weich und verletzlich, durch den starken Kokon jedoch relativ sicher und geschützt. Allerdings beginnt sich das Chitin der Puppe rasch zu erhärten, so dass nach wenigen Stunden die dunkelbraun gefärbte Gliederpuppe fertig entwickelt ist. In diesem Zustand überwintert die Puppe im Kokon. Im Frühjahr, sobald die Temeperaturen ansteigen, vollzieht sich das Ende der Metamorphose und der voll entwickelte Falter kann aus der Puppe und dem Kokon herauskriechen.



Abb. 62: Sehr feuchter bis schleimiger Entleerungskot vor Beginn der Wanderphase.



Abb. 63, 64: Gespinst, durch die die Raupe noch zu sehen ist und fertiger, geöffneter Kokon.

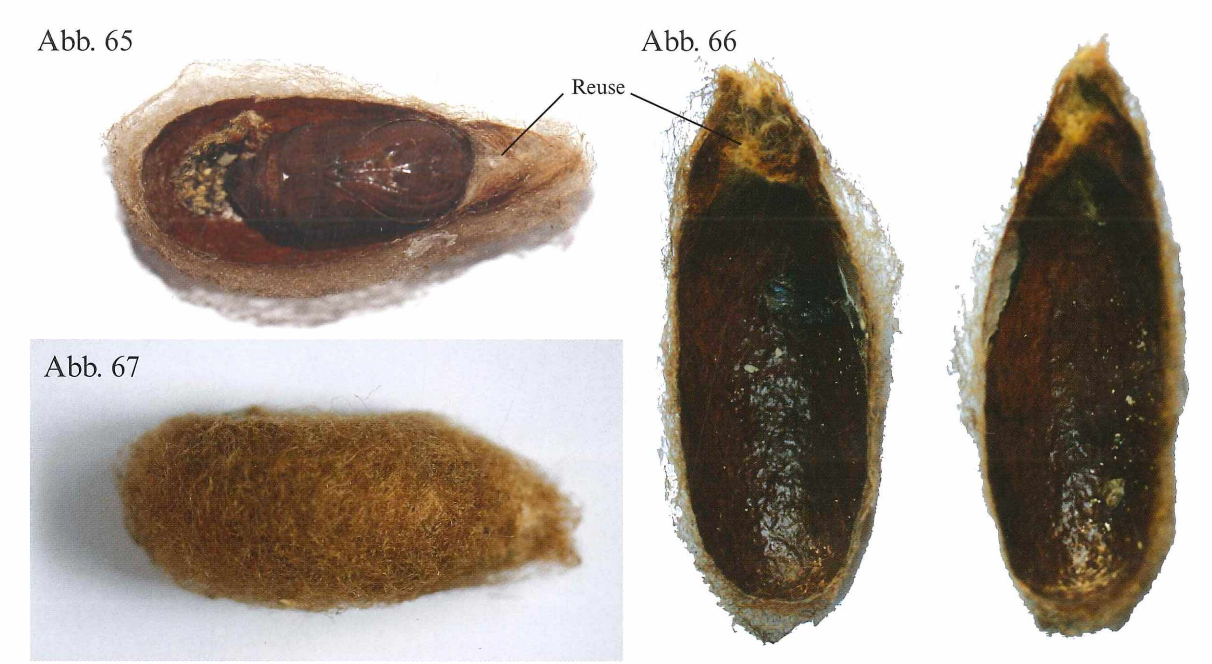


Abb. 65: Aufgeschnittener Kokon mit ♂-Puppe, unter ihr die abgesrteifte Raupenhaut, über dem Kopf die Reuse.

Abb. 66: Aufgeschnittener Kokon, die Puppe wurde entfernt. Die Innenwand glänzt durch das aufgebrachte Sekret aus den Speicheldrüsen der Raupe, die diese vor der Verpuppung aufgetragen hat.

Abb. 67: Kokon.

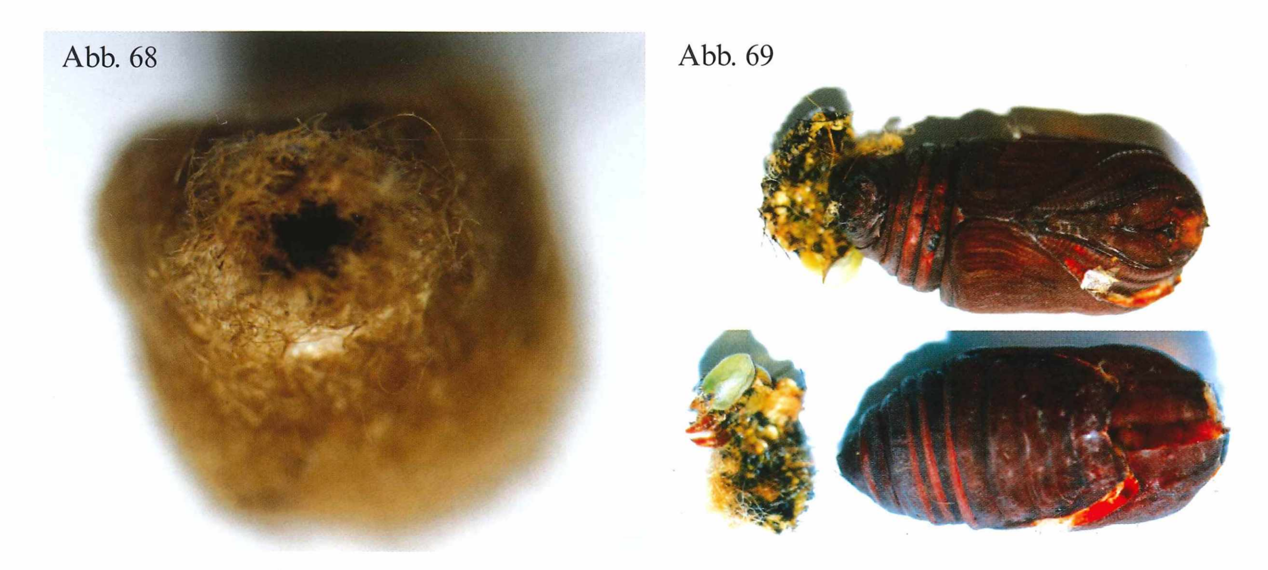


Abb. 68: Aufsicht auf die Kokonreuse nach dem Schlüpfen des Wiener Nachtpfauenauges.
Abb. 69: Abgestreifte Raupenhaut mit Puppenhülle eines ♂, ventral und dorsal.

5. Wachstum (Gesamtübersicht)

Es soll in diesem Kapitel noch einmal genauer auf das Wachstum der Raupe und die während der Entwicklung produzierte Kotmenge eingegangen werden.
Aus den Messergebnissen von Längen- und Gewichtszunahme der Raupe während der Entwicklungsphase konnten folgende Diagramme erstellt werden.

Aus dem Diagramm 1, das den Längenzuwachs darstellt, ist vom Beginn an (17.V.2007) bis zum Ende (11.VII.2007) ein nahezu geradliniges Wachstum erkennbar. Hierbei ist der Größenverlust, der bei jeder Häutung festgellt werden konnte, nicht berücksichtigt, da sich die Raupe vor jeder Häutung zusammenzieht. Der Größenverlust wird nach jeder Häutung sofort wieder egalisiert.

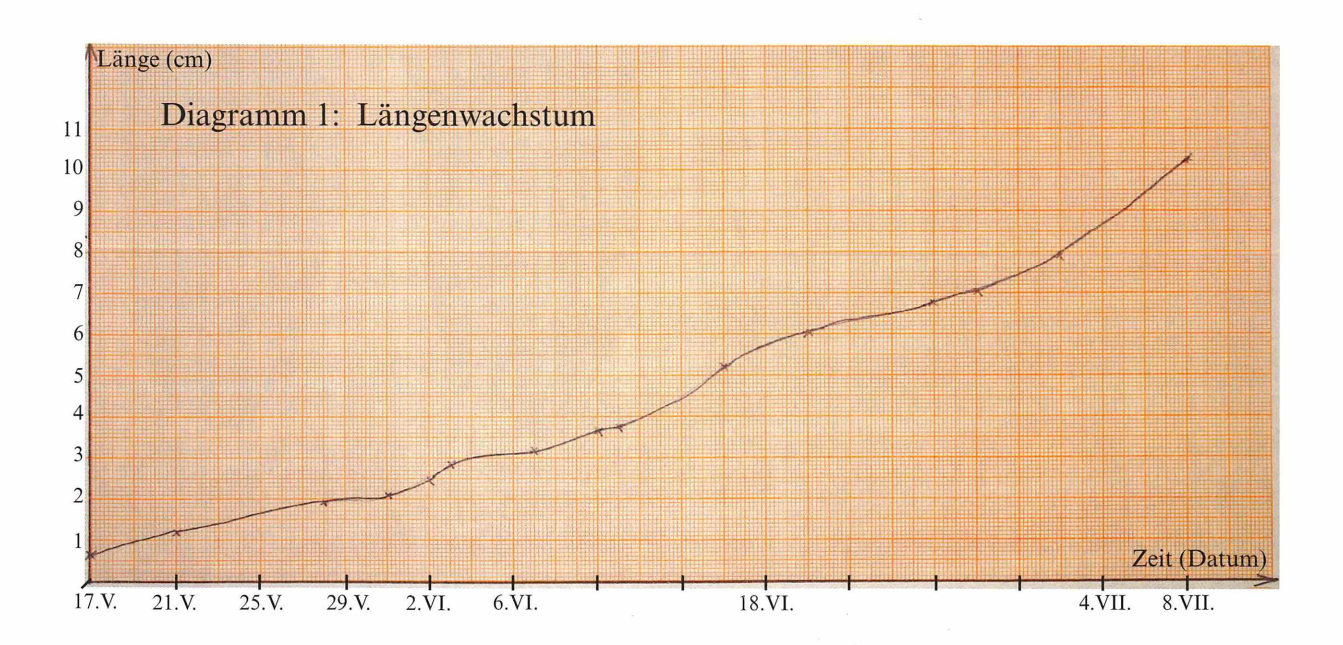
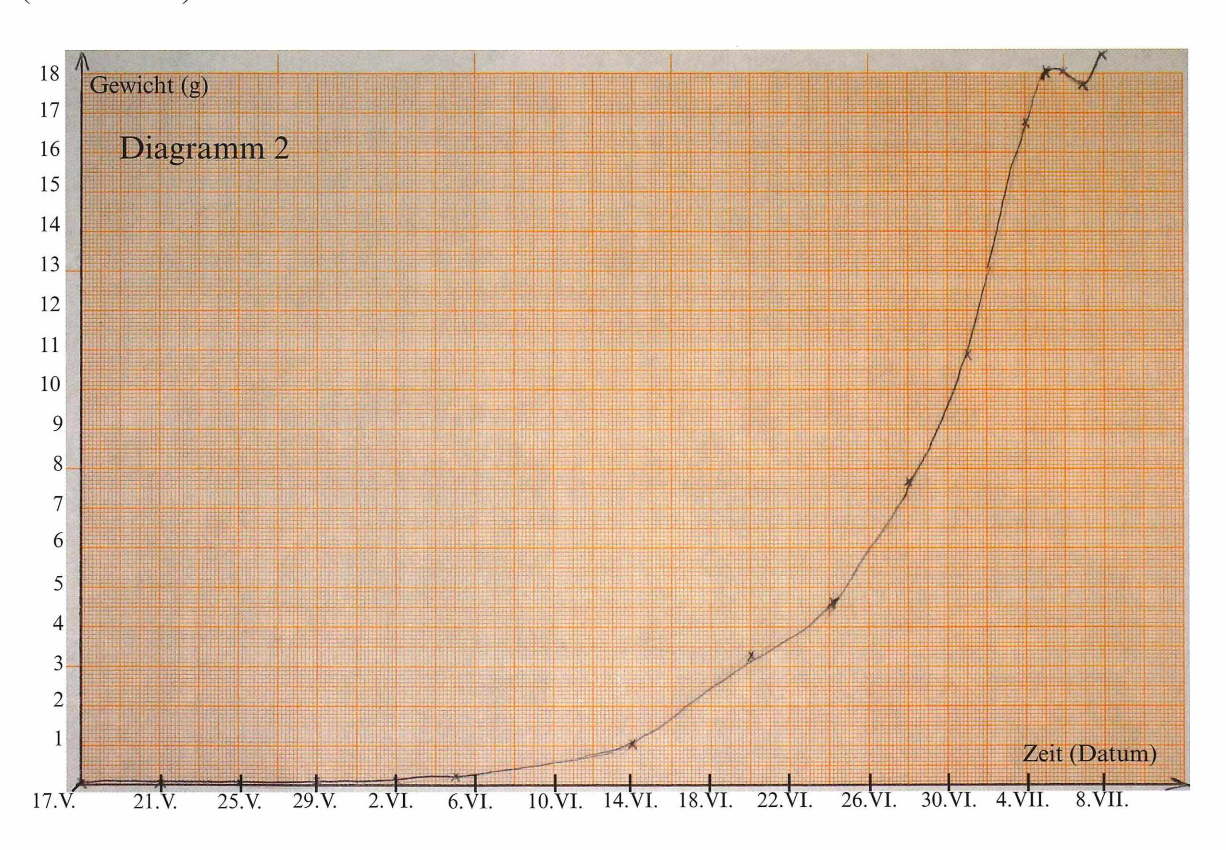


Diagramm 2 zeigt die Gewichtszunahme. Der Kurvenverlauf ist hier, nach einer anfänglich schwachen Steigung, nahezu exponentiell. Doch am Tag vor der Verpuppung ist der Gewichstverlust durch den Beginn des starken Auskotens zu erklären. Darauf nimmt die Raupe durch Wasseraufnahme (aus der Luft) noch einmal leicht an Gewicht zu.



6. Stoffumsatz

In diesem letzten Kapitel möchte ich versuchen, die Menge der Biomasse, die die Raupen während ihrer Entwicklungsphase zu sich genommen haben an Zahl, Gewicht und Größe der Kotballen grob zu veranschaulichen. Diese drei Parameter nahmen genauso in den Häutungsstadien der Raupe zu, wie deren Längen- und Gewichtszunahme. Es ist sehr schwer vom Kot auf die Nahrung zu schließen, aber man kann anhand der Bilder doch gut erahnen, was für eine Menge an Blattmasse von der Referenzraupe allein vertilgt wurde.

Die Zahl der Kotballen der Referenzraupe von L1 bis zur Verpuppung, das Trockengesamtgewicht aller Kotballen eines jeden Raupenstadiums und das Durchschnittsgewicht eines einzelnen Kotballens (Tabelle 2):

Fresstage (d)	Kotballen (N)	Kotballen pro Tag	Gesamtgewicht (g)	Ø pro Kotballen
L1: 17.V.-21.V. (5d)	159	31,8	0,010	$6{,}28 \times 10^{-5}$
L2: 22.V.-28.V. (7d)	226	32,3	0,068	$3{,}01 \times 10^{-4}$
L3: 30.V.-4.VI. (6d)	168	28	0,130	$7{,}74 \times 10^{-4}$
L4: 5.VI.-12.VI. (8d)	207	25,8	0,677	$3{,}27 \times 10^{-3}$
L5: 14.VI.-22.VI. (9d)	230	25,6	2,550	$1{,}11 \times 10^{-2}$
L6: 24.VI.-8.VII. (15d)	350	23,3	13,722	$3{,}92 \times 10^{-2}$

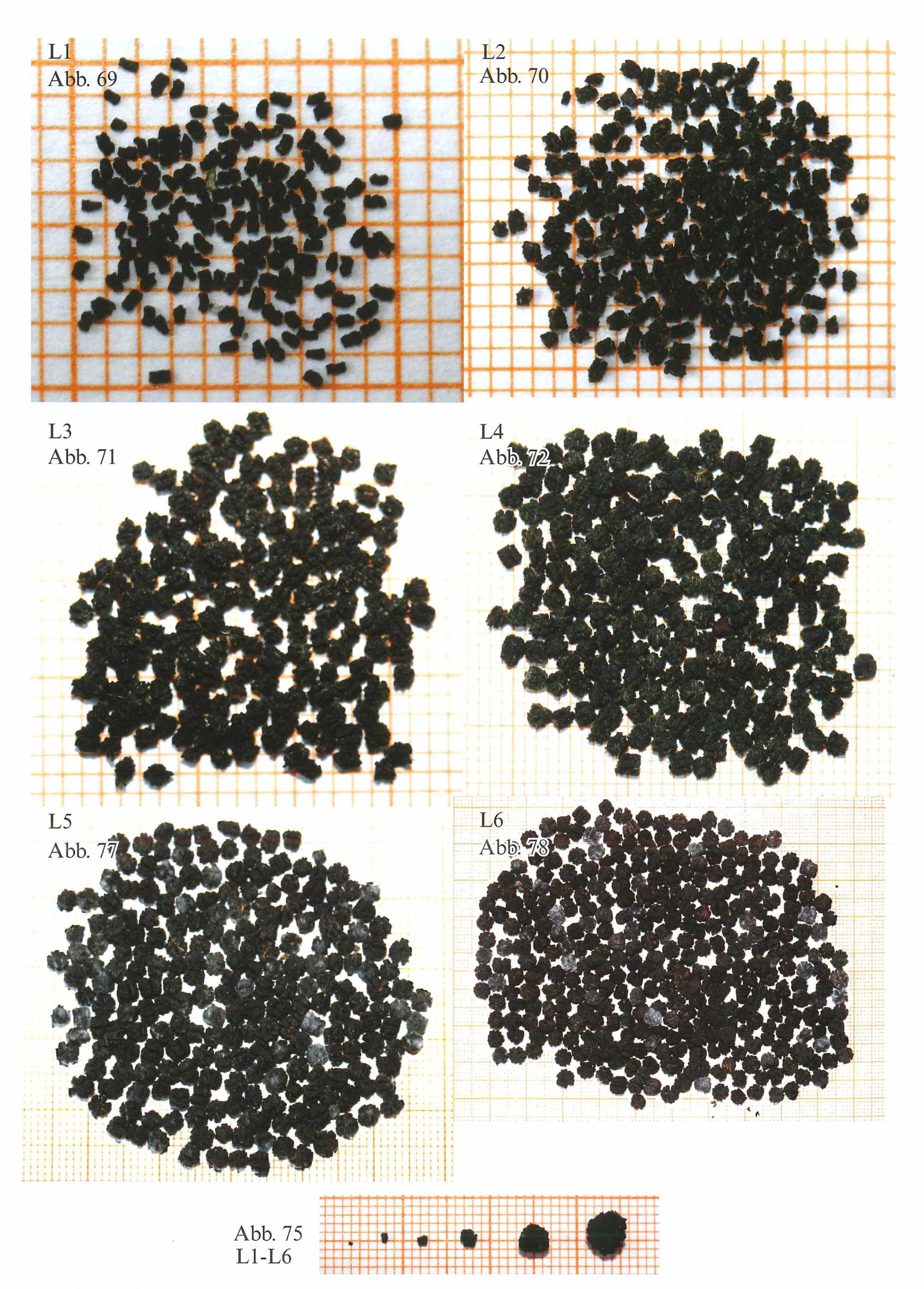


Abb. 69-75: Kotballen, die von der Referenzraupe vom Schlüpfen aus dem Ei bis zur Verpuppung während der L1-L6- Phase produziert worden sind (Zahl und Gewicht siehe in Tabelle 2). Die Kotballen liegen auf Millimeterpapier: Die richtige Größenrealtion der Kotballen der einzelnen Raupenstadien ist aus Abb. 75 ersichtlich.

IV. Schluss

Es ist schon erstaunlich bei der Aufzucht zu erleben, was aus einem winzigen Ei von knapp über 2mm Höhe und einem Gewicht von unter 5mg entsteht, und welcher Stoffumsatz dafür erforderlich ist. Die Metamorphose, die ich während meiner Arbeit beobachtet habe, erweckte auch ein Erstaunen darüber, wie schnell sich die Verwandlung von einem kleinen Ei zum riesenhaften Imago vollzieht. Es war schön mit den Tieren zu arbeiten und vielleicht auch durch die Beobachtungen über die Sekretdrüsen einen kleinen Beitrag zur Wissenschaft beigetragen zu haben. In den verwendeten Literaturquellen findet sich jedenfalls für diese Tatsache nirgends ein Hinweis.

Alle Bilder dieser Arbeit wurden, bis auf die REM-Bilder, vom Verfasser selbst angefertigt.

Dank

Für die Anfertigung der REM-Bilder bedanke ich mich ganz herzlich bei Herrn Dr. H.-Ch. Bartscherer vom Laboratorium für Elektronenmikroskopie am Lehrstuhl für Physik Weihenstephan der technischen Universität München.

Literatur

Eitschberger, U. (1970): Wanderfalterbeobachtungen im Mai 1969 in Spanien. Zugleich ein Beitrag über Gonadenuntersuchungen an Wanderfaltern. - Atalanta **3** (1): 17-42, Gröbenzell.

Eitschberger, U. [1984]: Systematische Untersuchungen am *Pieris napi-bryoniae*-Komplex (s. l.) (Lepidoptera, Pieridae). - Herbipoliana **1**, Teil1: 1-503, Teil 2: 1-603, Verlag Eitschberger, Marktleuthen (1983).

Freina, J. de & Th. J. Witt (1987): Die Bombyces und Sphinges der Westpaläarktis (Insecta, Lepidoptera), Bd. 1. - Edition Forschung und Wissenschaft Verlag, München.

Heppner, J. B. (1996): Atlas of tropical Lepidoptera. Checklist: Part B Drepanoidea - Bombycoidea - Sphingoidea. - Association for tropical Lepidoptera, Scientific Publishers, Gainesville.

Jost, B. & H.-P. Wymann (2000): Schmetterlinge und ihre Lebensräume. Arten, Gefährdung, Schutz. - Pro Natura - Schweizerischer Bund für Naturschutz, Fotorotar AG, Egg.

Schröder, Ch. (Herausgeber) (1928): Handbuch der Entomologie. Band **1**, 1426 Seiten. - Gustav Fischer Verlag, Jena.

Anschrift des Verfassers

Oliver Eitschberger
Winzerer Strasse 154
D-80797 München
e-mail: oliver.eitschberger@t-online.de